

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2006年7月20日 (20.07.2006)

PCT

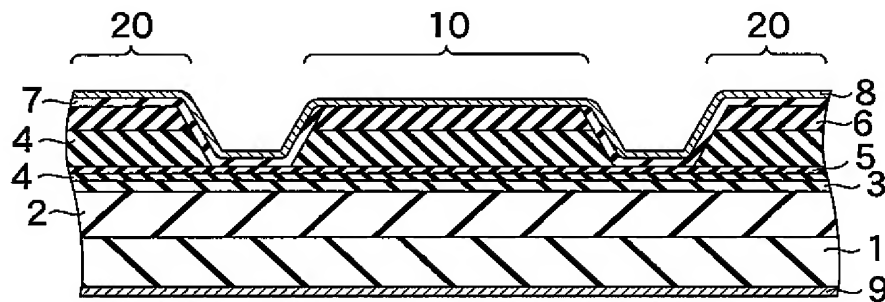
(10) 国際公開番号  
WO 2006/075759 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 33/00 (2006.01) H01S 5/343 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/300550
- (22) 国際出願日: 2006年1月17日 (17.01.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2005-009242 2005年1月17日 (17.01.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): アンリツ株式会社 (ANRITSU CORPORATION) [JP/JP]; 〒2438555 神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (73) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木 徹也
- (74) 代理人: 鈴江 武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目12番9号 鈴榮特許総合事務所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR OPTICAL ELEMENT HAVING WIDE LIGHT SPECTRUM EMISSION CHARACTERISTICS, METHOD FOR FABRICATING THE SAME, AND EXTERNAL RESONATOR TYPE SEMICONDUCTOR LASER

(54) 発明の名称: 広い光スペクトル発光特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザー



(57) Abstract: A semiconductor optical element comprising a semiconductor substrate, and an active layer having a plurality of quantum wells consisting of a plurality of barrier layers formed above the semiconductor substrate and a plurality of well layers sandwiched by the plurality of barrier layers. At least one of the plurality of well layers comprises an  $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$  film wherein the composition ratio  $x_a$  of In is any value in the range of approximately 0.05 to approximately 0.20. Consequently, the semiconductor optical element is formed as a strained well layer where the lattice strain occurring in the well layer is any value in the range of approximately 0.35% to approximately 1.5%, and the strained well layer is formed to have a band gap wavelength different from that of other well layers. Consequently, the semiconductor optical element is constituted to present wide light spectrum characteristics having a central wavelength from approximately 800 nm to approximately 850 nm and a spectral half peak width of a predetermined value or above.

(57) 要約: 半導体光素子は、半導体基板と、前記半導体基板の上方に形成される複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層とからなる複数の量子井戸を有する活性層とを有する。前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとる。これにより、半導体光素子は、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成される。これにより、半導体光素子は、光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されている。

WO 2006/075759 A1



KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

広い光スペクトル発光特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザ

## 技術分野

[0001] 本発明は、半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザに係り、特に、化合物半導体を用いた半導体光素子としてのスーパールミネッセントダイオード、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子において、広い光スペクトル発光特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザに関する。

## 背景技術

[0002] 近年、半導体光素子の一種として実現されている、中心波長が略800nmから略850nmまでの波長帯で用いられるスーパールミネッセントダイオード(Super Luminescent Diode:SLD)は、その光スペクトル発光特性として所定のスペクトル半値幅の発光特性を有していることにより、光ジャイロ、光通信装置、光応用計測装置等への利用が進められている。

[0003] このようなSLDには、前述した所定のスペクトル発光特性を得るために、通常、III-V族化合物半導体を用いられている。

[0004] そして、活性層にpn接合を用いた構造の半導体光素子、複数の障壁層と複数の井戸層からなる量子井戸を用いた構造の半導体光素子等によってSLDが実現されている。

[0005] ところで、上記SLDとは異なる機能を有する半導体光素子として実現されている半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier:SOA)及び外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子は、その光スペクトル発光特性として前述したようなSLDと同様に所定のスペクトル半値幅の発光特性を有している。

[0006] これに対して半導体レーザには所定の波長で発光する発光特性が求められている。

[0007] そして、その発光特性を向上させる半導体レーザとして以下に示すように構成され

る半導体レーザが知られている。

- [0008] すなわち、この半導体レーザは、半導体基板がGaAsからなり、870～1100nmの波長帯で発光する半導体レーザとして、活性層を構成する井戸層の材料に、通常、InGaAsが用いられていると共に、井戸層の厚さ(量子井戸の幅)が6～10nmの範囲から選択されている(例えば、下記の特許文献1参照)。
- [0009] また、この半導体レーザでは、要求される所定の波長で好適に発光させることを目的として、InGaAsからなる井戸層中に所望の格子歪を生じさせるために、そのInGaAs中のIn組成比が決定されている(例えば、下記の特許文献1参照)。
- [0010] なお、半導体レーザの分野では、活性層を構成する井戸層の材料として $\text{In}_{0.97}\text{Ga}_{0.03}\text{As}$ を用い、井戸層の膜厚(量子井戸の幅)が3nmで、780nmの波長帯で発光する半導体レーザの技術も開示されている(例えば、下記の特許文献2参照)。
- [0011] また、800～870nmの波長帯で用いられるSOAにおいては、井戸層にGaAsが用いられていると共に、所定の発光特性を確保する観点から井戸層厚を5nm以上とするのが一般的である(例えば、下記の特許文献2参照)。
- [0012] ところで、上記SLDは、利用上の観点から、半導体レーザの発光特性よりも広い発光スペクトル半値幅で発光することが求められる。
- [0013] また、半導体光素子の発光スペクトルを広くする方法としては、一例として、活性層に発光波長帯の異なる複数の井戸層を設ける方法が知られている(例えば、下記の特許文献3、4参照)。
- [0014] しかるに、このような構造を有する従来技術による半導体光素子は、以下のような問題のために、駆動電流の全ての範囲内での発光素子としての動作が不安定になりがちであることにより、所定の発光スペクトル半値幅を維持することが困難である。
- [0015] すなわち、従来技術による半導体光素子では、例えば、低駆動電流側では発光の波長帯の長波長側で強度の強い発光スペクトルが得られているのに対し、駆動電流の増加に伴い強度の強い帯域が短波長側に移るか、または短波長側に広がっていくなどのように動作する発光素子が多いという問題があるためである。
- [0016] また、従来技術による半導体光素子では、上述した問題のために、所望の発光スペクトル半値幅で利用できる駆動電流の範囲が狭いという問題があるためである。

[0017] 同様の問題が、所定のスペクトル半値幅を有するSOA、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等についても生じている。

特許文献1:特開平05-226789号公報

特許文献2:特開平05-175598号公報

特許文献3:特開平01-179488号公報

特許文献4:特開昭57-109387号公報

#### 発明の開示

[0018] 上記のような各特許文献に開示されている従来技術による半導体光素子では、活性層に厚さ6nm以上のGaAs膜またはInGaAs膜が井戸層として用いられている。

[0019] しかるに、このような従来技術による半導体光素子では、上述したように、800～850nm付近の発光波長帯で利用するという観点からは、所定の発光スペクトル半値幅を維持したまま効率のよい発光を安定して得ることが難しいという問題がある。

[0020] なお、特許文献2に開示されている半導体レーザでは、上記の井戸層厚が3nmで、且つ発光波長帯が780nmとなっている。

[0021] ところで、波長による制約から井戸層に $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ を用いる限りはこのような狭い井戸層を使わざるを得ないと共に、井戸層にInの割合が極めて低い $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{As}$ が用いられている。

[0022] このため、この半導体レーザでは、特許文献1に開示されているような井戸層中に格子歪を生じさせることが困難であるので、格子歪に依拠する上述したような利点を十分に引き出すことができないという問題がある。

[0023] 本発明の目的は、以上のような従来技術の問題を解決するため、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル発光特性を提示可能に構成されていることにより、井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術によるSLD、SOA、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を安定して得ることが可能な広い光スペクトル発光特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザを提供することである。

[0024] 前記目的を達成するために、本発明の第1の態様によると、

半導体基板(1)と、  
前記半導体基板(1)の上方に形成される複数の障壁層(3a1, 3a2...)と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層(3b1, 3b2...)とからなる複数の量子井戸(3c1, 3c2...)を有する活性層(3)とを備え、

前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、

前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、

光スペクトル発光特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル発光特性を提示可能に構成されていることを特徴とする半導体光素子が提供される。

[0025] この構成により、活性層が他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する歪井戸層を有し、この歪井戸層が $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術によるSLD、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子よりも良好な発光特性を安定して得ることが可能な半導体光素子を実現することができる。

[0026] また、前記目的を達成するために、本発明の第2の態様によると、  
前記歪井戸層が、略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有することを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0027] この構成により、第1の態様による効果に加え、少なくとも1つの歪井戸層が略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有するため、所要の格子歪を有効に発生させることができるので、従来技術による半導体光素子に比して、中心波長が略800nmから略850nmまでの波長帯でさらに良好な発光特性または増幅特性を安

定して得ることが可能な半導体光素子を実現することができる。

[0028] また、前記目的を達成するために、本発明の第3の態様によると、  
前記活性層に含まれる前記複数の量子井戸がそれぞれ略同一の層厚を有することを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0029] この構成により、第1の態様による効果に加え、活性層に含まれる各量子井戸が略同一の層厚を有するため、上記の波長帯の中心波長及び井戸層厚で適切に少なくとも1つの歪井戸層に格子歪を生じさせることが可能な半導体光素子を実現することができる。

[0030] また、前記目的を達成するために、本発明の第4の態様によると、  
前記半導体光素子が、スーパーluminescentダイオード:SLD(100)として適用されることを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0031] また、前記目的を達成するために、本発明の第5の態様によると、  
前記半導体光素子が、半導体光増幅器:SOA(200)として適用されることを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0032] また、前記目的を達成するために、本発明の第6の態様によると、  
前記半導体光素子が、外部共振器型半導体レーザ(300)用の増幅素子として適用されることを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0033] また、前記目的を達成するために、本発明の第7の態様によると、  
前記半導体基板(1)としてn-GaAs基板を用いることを特徴とする第1の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0034] また、前記目的を達成するために、本発明の第8の態様によると、  
前記SLD(100)は、前記半導体光素子として、前記半導体基板(1)の表面の上方に形成される第1のクラッド層(2)と、前記第1のクラッド層(2)の上方に形成される前記活性層(3)と、前記活性層(3)の上方に形成される第2のクラッド層(4)と、前記第2のクラッド層(4)中に形成されるエッチング阻止層(5)と、前記第2のクラッド層(4)の上方に形成されるコンタクト層(6)と、前記コンタクト層(6)の上方及び前記エッチング阻止層(5)の上方に形成される絶縁膜(7)と、前記絶縁膜(7)の上方に形成される第1の電極(8)と、前記半導体基板(1)の裏面に形成される第2の電極(9)とを

備えると共に、

前記半導体光素子の短手方向の中央部の前記エッチング阻止層(5)の上方に台形状に、且つ、前記半導体光素子の長手方向における一端面から中央部近辺にかけた位置における前記エッチング阻止層(5)の上方にストライプ状に形成される利得領域となるリッジ部(10)と、

前記半導体光素子の長手方向における中央部近辺から前記半導体光素子の他端面にかけて前記リッジ部(10)に隣接した位置で前記活性層(3)を含む前記半導体光素子の内部にストライプ状に形成される光及び電流を吸収する吸収領域(11)と、

前記リッジ部(10)の両側部に対向した位置に形成される光が導波されない領域と、前記半導体光素子の長手方向における一端面に形成される反射防止膜(12)とを有することを特徴とする第4の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0035] また、前記目的を達成するために、本発明の第9の態様によると、

前記SOA(200)は、前記半導体光素子として、前記半導体基板(201)の表面の上方に形成される第1のクラッド層(202)と、前記第1のクラッド層(202)の上方に形成される前記活性層(203)と、前記活性層(203)の上方に形成される第2のクラッド層(204)と、前記第2のクラッド層(204)中に形成されるエッチング阻止層(205)と、前記第2のクラッド層(204)の上方に形成されるコンタクト層(206)と、前記のコンタクト層(206)の上方に形成される絶縁膜(207)と、前記絶縁膜(207)の上方に形成される第1の電極(208)と、前記半導体基板(201)の裏面に形成される第2の電極(209)とを備えると共に、

前記エッチング阻止層(205)の上方に形成される利得領域と、光が入射及び出射する前記半導体光素子の両端面上に形成される第1及び第2の反射防止膜(212, 213)と、前記利得領域の両端面近傍に形成される第1及び第2の電流非注入領域(214, 215)とを有することを特徴とする第5の態様に従う半導体光素子が提供される。

[0036] また、前記目的を達成するために、本発明の第10の態様によると、

n-GaAsからなる半導体基板(1)の(100)面の上方に、 $n\text{-Al}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{As}$ 層からなる第1のクラッド層(2)、アンドープの $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ からなる複数種類の井戸



層(3B1, 3B2...)とアンドープの $\text{Al}_{xc}\text{Ga}_{(1-xc)}\text{As}$ からなる複数の障壁層(3a1, 3a2 ...)とを含む活性層(3)、 $\text{p-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなる第2のクラッド層(4)、前記第2のクラッド層(4)中のエッチング阻止層(5)及び、 $\text{p}^+-\text{GaAs}$ からなるコンタクト層(6)を順次に堆積する工程と、

前記コンタクト層(6)上にリッジ部(10)と非導波部(20)とを分離するためのリッジ分離用レジストパターン( $R_1$ )を形成する工程と、

前記リッジ分離用レジストパターン( $R_1$ )をエッチングマスクとして前記エッチング阻止層(5)よりも表面側の前記第2のクラッド層(4)及びコンタクト層(6)を除去し、リッジ部(10)と非導波部(20)とを分離する分離溝を形成する工程と、

前記分離溝を形成した後、絶縁膜(7)を形成する工程と、

前記リッジ部(10)上の絶縁膜(7)を除去してコンタクトホールを形成するためのコンタクトホール形成用レジストパターン( $R_2$ )を形成する工程と、

前記コンタクトホール形成用レジストパターン( $R_2$ )をエッチングマスクとしてコンタクトホールを形成した後、前記リッジ部(10)の上方の絶縁膜(7)を除去する工程と、

前記コンタクトホールを形成した後、前記半導体基板(1)の表面側からp電極(8)を形成する工程と、

前記p電極(8)を形成した後、前記半導体基板(1)の裏面を研磨して前記半導体基板(1)を所定の厚さにする工程と、

前記半導体基板(1)を所定の厚さまで研磨した後、前記半導体基板(1)の裏面にn電極(9)を形成する工程とを備え、

前記複数種類の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比xaが略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、

前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、

光スペクトル発光特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル発光特性を提示可能に

構成されていることを特徴とする半導体光素子の製造方法が提供される。

- [0037] また、前記目的を達成するために、本発明の第11の態様によると、  
所定の波長帯の光を出射する半導体光素子(400)と、  
前記半導体光素子(400)から出射される前記所定の波長帯の光を受けて所定の波長の光を選択して前記半導体光素子に戻す外部共振器(500)とを備える外部共振器型半導体レーザであって、  
前記半導体光素子(400)は、  
半導体基板(201)と、  
前記半導体基板(201)の上方に形成される複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層とからなる複数の量子井戸を有する活性層(203)とを備え、  
前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、  
前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、  
光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されていることを特徴とし、  
前記外部共振器(500)は、  
前記半導体光素子(400)から出射される前記所定の波長帯の光を受けて所定の波長の光を選択する波長選択手段(502)と、  
前記半導体光素子(400)と前記波長選択手段(502)との間にあって、前記波長選択手段(502)によって選択された前記所定の波長の光を前記波長選択手段(502)に入射させると共に、前記波長選択手段(502)によって選択された前記所定の波長の光を前記半導体光素子(400)に戻す光学手段(501)とを備えたことを特徴とする外部共振器型半導体レーザが提供される。

- [0038] 前記目的を達成するために、本発明の第12の態様によると、

前記外部共振器(500)の前記波長選択手段(502)は、反射角を変えることによって反射光の波長が選択可能な回折格子で構成されていることを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0039] 前記目的を達成するために、本発明の第13の態様によると、

前記外部共振器(500)の前記波長選択手段(502)は、波長可変フィルタ(503)と全反射ミラー(504)とで構成されていることを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0040] 前記目的を達成するために、本発明の第14の態様によると、

前記半導体光素子(100)の前記歪井戸層が、略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有することを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0041] また、前記目的を達成するために、本発明の第15の態様によると、

前記半導体光素子(100)の前記活性層(3)に含まれる前記複数の量子井戸がそれぞれ略同一の層厚を有することを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0042] また、前記目的を達成するために、本発明の第16の態様によると、

前記半導体基板(1)としてn-GaAs基板を用いることを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0043] また、前記目的を達成するために、本発明の第17の態様によると、

前記半導体光素子(400)は、

前記半導体基板(201)の表面の上方に形成される第1のクラッド層(202)と、前記第1のクラッド層(202)の上方に形成される前記複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた前記複数の井戸層とからなる前記複数の量子井戸を有する前記活性層(203)と、前記活性層(203)の上方に形成される第2のクラッド層(204)と、前記第2のクラッド層(204)中に形成されるエッチング阻止層(205)と、前記第2のクラッド層(204)の上方に形成されるコンタクト層(206)と、前記コンタクト層(206)の上方に形成される絶縁膜(207)と、前記コンタクト層(206)の上方にして前記絶縁膜(207)の上方に形成される第1の電極(208)と、前記半導体基板(201)の裏面に形成される

第2の電極(209)とを備えると共に、

前記エッチング阻止層(205)の上方に形成される利得領域と、光が入射及び出射する素子の両端面上に形成される第1及び第2の反射防止膜(212, 213)と、前記利得領域の両端面近傍に形成される第1及び第2の電流非注入領域(214, 215)とを有することを特徴とする第11の態様に従う外部共振器型半導体レーザが提供される。

[0044] 本発明による半導体光素子は、半導体基板(1、201)の上方に形成される複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層とからなる複数の量子井戸を有する活性層(3、203)とを備え、前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、光スペクトル発光特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル発光特性を提示可能に構成されていることを特徴としている。

[0045] 本発明によると、活性層が他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有する少なくとも1つの歪井戸層を有し、該歪井戸層が $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成しているので、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術による半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を安定して得ることが可能な広い光スペクトル特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0046] [図1A]図1Aは、本発明の第1の実施形態による半導体光素子が適用されるSLDの構成を説明するために示す平面図である。

[図1B]図1Bは、図1Aの1B－1B線断面図である。

[図2A]図2Aは、図1A, Bに示されるSLDの原理を説明するための活性層を構成する井戸層の膜厚と発光波長との関係の一例としてInの組成比をパラメータにして示す特性図である。

[図2B]図2Bは、図1A, Bに示されるSLDの原理を説明するための活性層を構成する井戸層の膜厚と発光波長との関係の他の例としてInの組成比をパラメータにして示す特性図である。

[図3A]図3Aは、図1A, Bに示されるSLDの活性層の構造の一例を説明するために示す図である。

[図3B]図3Bは、図1A, Bに示されるSLDの活性層の構造の他の例を説明するために示す図である。

[図4A]図4Aは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図4B]図4Bは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図4C]図4Cは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図4D]図4Dは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図5A]図5Aは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図5B]図5Bは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図5C]図5Cは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDの製造方法を説明するために示す工程図である。

[図6A]図6Aは、図1A, B及び図3Aに示されるSLDによって得られる発光スペクトル

の一例を示す図である。

[図6B]図6Bは、図1A, B及び図3Bに示されるSLDによって得られる発光スペクトルの他の例及び駆動電流対光出力パワー(図示実線)との関係を従来技術によるSLDのそれら(図示破線)との対比において示す特性図である。

[図7A]図7Aは、本発明の第2の実施形態による半導体光素子が適用される半導体光増幅器の構成を説明するために示す平面図である。

[図7B]図7Bは、図7Aの7B-7B線断面図である。

[図8]図8は、本発明の第3の実施形態による外部共振器型半導体レーザの構成を説明するために示すブロック図である。

[図9]図9は、本発明の第3の実施形態による外部共振器型半導体レーザの他の構成を説明するために示すブロック図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0047] 以下、図面に基づいて本発明の幾つかの実施の形態を説明する。

[0048] (第1実施形態)

図1A, Bは、本発明の第1の実施形態による半導体光素子が適用されるスーパーluminescentダイオード(SLD)の基本構造を示している。

[0049] すなわち、図1Aは、本発明の第1の実施形態による半導体光素子が適用されるSLD100の構成を説明するために示す平面図である。

[0050] また、図1Bは、図1Aに示すSLD100の1B-1B線断面図である。

[0051] 先ず、図1Bに示すように、このSLD100は、半導体基板1の表面の上方に形成される第1のクラッド層2と、この第1のクラッド層2の上方に形成される活性層3と、この活性層3の上方に形成される第2のクラッド層4と、この第2のクラッド層4の中に形成されるエッチング阻止層5と、前記第2のクラッド層4の上方に形成されるコンタクト層6と、このコンタクト層6の上方及び前記エッチング阻止層5の上方に形成される絶縁膜7と、この前記絶縁膜7の上方に形成される第1の電極8と、前記半導体基板1の裏面(上記各半導体層2、3、4、5が積層された基板表面と反対側の面)に形成される第2の電極9とを備えている。

[0052] そして、図1Aにおいて、参照符号10を用いて示す部分は、素子の短手方向の中

央部の前記エッチング阻止層5の上方に台形状に、且つ、素子の長手方向における素子の一端面から中央部近辺にかけた位置における前記エッチング阻止層5の上方にストライプ状に形成される利得領域となるリッジ部である。

[0053] また、参照符号11を用いて示す部分は、素子の長手方向における中央部近辺から素子の他端面にかけて前記リッジ部10に隣接した位置で前記活性層3を含む素子の内部にストライプ状に形成される光及び電流の吸収領域である。

[0054] また、参照符号20を用いて示す部分は、前記リッジ部10の両側部に対向した位置に形成される光が導波されない領域(以下、非導波部という)、すなわち、当該部分の前記第2のクラッド層4が前記リッジ部10と接続されていないことにより、動作電流が注入されない領域である。

[0055] また、参照符号12を用いて示す膜は、半導体光素子の長手方向における一端面に形成される反射防止膜である。

[0056] そして、本発明の第1の実施形態による半導体光素子が適用されるSLD100は、後述するように、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されていることにより、略800～略850nmの発光波長帯に用いられるものである。

[0057] 先ず、このSLD100に用いられる半導体基板1は、n-GaAs基板である。

[0058] この半導体基板1の材質としては、III-V族の半導体を用いることができる。

[0059] しかるに、GaAs基板は、その上方に形成される活性層3との組み合わせが好適であること、高い品質の基板が得られること、物性が比較的分かっていること、入手の容易性等から半導体基板1の材質としてGaAs基板を用いるのが好適である。

[0060] なお、GaAs中では、電子の移動度が正孔の移動度より大きいため、n-GaAs基板はp-GaAs基板より抵抗率が低い。

[0061] そして、このSLD100においては、活性層3から半導体基板1の裏面上の電極9までの距離が、コンタクト層6上の電極8までの距離よりも長いため、半導体基板1の裏面上の電極9から活性層3までの電気抵抗が大きくなるようにするために、半導体基板1にn-GaAs基板を用いるものである。

[0062] また、このSLD100に用いられる第1のクラッド層2は、 $n\text{-Al}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{As}$ 層からな

る。

- [0063] この場合、 $n\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ は、半導体基板1として用いられる $n\text{-GaAs}$ と格子定数の差が小さいため格子不整合に伴う欠陥の問題を回避することができるので、半導体基板1の上方に形成される第1のクラッド層2として好適である。
- [0064] ここで、第1のクラッド層2として用いられる $n\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ のAl組成比 $xb$ は略0.4であり、不純物濃度は略 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚は略 $2 \mu\text{m}$ であり、 $n$ 型の不純物としては、例えば、Siが好適である。
- [0065] このSLD100に用いられる活性層3は、後述する図3A, Bに示すように、複数の障壁層3a1, 3a2…と、該複数の障壁層3a1, 3a2…の間に挟まれて形成される複数の井戸層3b1, 3b2…とからなる複数の量子井戸3c1, 3c2…を有する。
- [0066] そして、複数の井戸層3b1, 3b2…が、それぞれ、アンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ を用いて形成される。
- [0067] また、複数の障壁層3a1, 3a2…が、それぞれ、アンドープの $\text{Al}_{xc}\text{Ga}_{(1-xc)}\text{As}$ を用いて形成される。
- [0068] ここで、複数の井戸層3b1, 3b2…に用いられる $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ は、当該井戸層内に格子歪を生じさせることによって、SLD100としての発光の量子効率を向上させることができるため、活性層3を構成する複数の井戸層3b1, 3b2…に少なくとも一つの歪井戸層を形成するために用いるものである。
- [0069] この場合、少なくとも1つの歪井戸層は、後述するように、他の量子井戸と異なるバンドギャップ波長を有すると共に、井戸層に用いられるアンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ におけるInの組成比 $xa$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を好適に実現できる程度に格子歪を発生させることができる。
- [0070] ここで、井戸層に用いられるアンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ におけるInの組成比 $xa$ と当該歪井戸層内で生ずる格子歪量 $s$ との関係について説明する。
- [0071]  $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ からなる歪井戸層内で生ずる格子歪量 $s$ は、GaAs基板に対する格子定数として、次式により計算される。



[0072]  $s =$

$$[\{a(\text{InGaAs}) - a(\text{GaAs})\} / a(\text{GaAs})] \times 100\% \cdots (1)$$

但し、

$$a(\text{InGaAs})$$

$$= a(\text{GaAs}) \times (1 - x_a) + a(\text{InAs}) \times x_a \cdots (2)$$

ここで、 $a(\text{InGaAs})$ は $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ の格子定数であり、 $x_a$ はIII族元素中のIn組成比である。

[0073] また、 $a(\text{GaAs})$ は、GaAsの格子定数であり、 $a(\text{GaAs}) = 0.56533(\text{nm})$ である。

[0074] また、 $a(\text{InAs})$ は、InAsの格子定数であり、 $a(\text{InAs}) = 0.60584(\text{nm})$ である。

[0075] したがって、本発明で採用するInの組成比 $x_a$ が下限値の0.05の場合、 $a(\text{GaAs}) = 0.56533(\text{nm})$ 及び $a(\text{InAs}) = 0.60584(\text{nm})$ を(2)式に代入すると、

$$a(\text{InGaAs})$$

$$= 0.56533(\text{nm}) \times (1 - 0.05) + 0.60584(\text{nm}) \times 0.05$$

$$= 0.5370635(\text{nm}) + 0.329200(\text{nm})$$

$$= 0.5673655(\text{nm})$$

が得られる。

[0076] 次に、この $a(\text{InGaAs}) = 0.5673655(\text{nm})$ と、 $a(\text{GaAs}) = 0.56533(\text{nm})$ とを(1)式に代入すると、

$$s = [\{0.5673655(\text{nm}) - 0.56533(\text{nm})\} / 0.56533(\text{nm})] \times 100\%$$

$$= \{0.0020355(\text{nm}) / 0.56533(\text{nm})\} \times 100\%$$

$$= 0.3600551\%$$

が得られる。

[0077] これにより、本発明では、Inの組成比 $x_a$ が下限値の0.05の場合の格子歪量 $s$ を略0.35%としている。

[0078] また、本発明で採用するInの組成比 $x_a$ が上限値0.20の場合、 $a(\text{GaAs}) = 0.56533(\text{nm})$ 及び $a(\text{InAs}) = 0.60584(\text{nm})$ を(2)式に代入すると、

$$a(\text{InGaAs})$$

$$= 0.56533(\text{nm}) \times (1 - 0.20) + 0.60584(\text{nm}) \times 0.20$$

$$=0.452264(\text{nm})+0.121168(\text{nm})$$

$$=0.573432(\text{nm})$$

が得られる。

- [0079] 次に、この $a(\text{InGaAs})=0.573432(\text{nm})$ と、 $a(\text{GaAs})=0.56533(\text{nm})$ とを(1)式に代入すると、

$$s=[\{0.573432(\text{nm})-0.56533(\text{nm})\}/0.56533(\text{nm})]\times 100\%$$

$$=\{0.008102(\text{nm})/0.56533(\text{nm})\}\times 100\%$$

$$=1.4331452\%$$

が得られる。

- [0080] これにより、本発明では、Inの組成比 $x_a$ が上限値の0.20の場合の格子歪量 $s$ を略1.5%としている。

- [0081] 以上により、この実施形態によるSLD100は、後述するように、その光スペクトル発光特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル発光特性を提示可能に且つ高い光学利得を安定して得られるように構成されている。

- [0082] また、複数の井戸層3b1, 3b2…は、図3Aに示す一例においては、第1及び第2の2種類からなり、第1の種類の井戸層(以下、第1の井戸層3B1)のIn組成比 $x_a$ は0.10であり、第2の種類の井戸層(以下、第2の井戸層3B2)のIn組成比 $x_a$ は略0.02であり、それらの厚さ $d_2$ は全て略3nmとされる。

- [0083] ここで、各種類の井戸層は、それぞれが複数層であってもよく、ここに示す一例では各種類の井戸層を2層とする。

- [0084] また、複数の障壁層3a1, 3a2…に用いられる $\text{Al}_{xc}\text{Ga}_{(1-xc)}\text{As}$ のAl組成比 $x_c$ は、いずれも略0.25である。

- [0085] 図2Aは、上記一例による井戸層の膜厚 $d(\text{nm})$ とバンドギャップ(発光)波長 $\lambda(\text{nm})$ との関係をInの組成比 $x_a$ をパラメータにして示す特性図である。

- [0086] 図2Aに示すように、各井戸層に用いられるアンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ におけるInの組成比 $x_a$ が略0.10のときのバンドギャップ波長は略840nmであり、同じくInの組成比 $x_a$ が略0.02のときのバンドギャップ波長は略810nmである。

- [0087] 図2Bは、他の例による井戸層の膜厚 $d$  (nm)とバンドギャップ(発光)波長 $\lambda$  (nm)との関係をInの組成比 $x_a$ をパラメータにして示す特性図である。
- [0088] 図2Bに示すように、各井戸層に用いられるアンドープの $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ におけるInの組成比 $x_a$ が略0.20のときのバンドギャップ波長は略880nmであり、同じくInの組成比 $x_a$ が略0.05のときのバンドギャップ波長は略810nmである。
- [0089] なお、図2Bにおいて、図示実線で示す特性は障壁層 $\text{Al}_{x_c}\text{Ga}_{(1-x_c)}\text{As}$ におけるAlの組成比 $x_c$ が0.25の場合である。
- [0090] また、図2Bにおいて、図示破線で示す特性は障壁層 $\text{Al}_{x_c}\text{Ga}_{(1-x_c)}\text{As}$ におけるAlの組成比 $x_c$ が0.3の場合である。
- [0091] 図3Aは、上記図2Aに示した一例による活性層3の構造を説明する図である。
- [0092] すなわち、この活性層3は、複数の障壁層3a1, 3a2…と、該複数の障壁層3a1, 3a2…の間に挟まれて形成される複数の井戸層3b1, 3b2…としてその種類が2種類で、各種類の井戸層としての第1の井戸層3B1及び第2の井戸層3B2が、それぞれ、2層3b1, 3b2及び3b3, 3b4とからなる。
- [0093] 図3Aにおいて、 $E_c$ は伝導帯の底のエネルギー準位を示し、 $E_v$ は価電子帯の上端のエネルギー準位を示す。
- [0094] また、図3Aにおいて、記号 $h$ は、プランク定数であり、記号 $c$ は光速を示す。
- [0095] ここで、第2の井戸層3B2は、その厚さ $d$ が $d_1$ で、バンドギャップ波長 $\lambda_1$  (略840nm)の光を発光するようになっている。
- [0096] また、第1の井戸層3B1は、厚さ $d$ が $d_2$ で、バンドギャップ波長 $\lambda_2$  (略810nm)の光を発光するようになっている。
- [0097] 上記図3Aで示したように、各井戸層の厚さ $d$ としての $d_1$ と $d_2$ とは、それぞれ略3nmの同一とする。
- [0098] また、各障壁層3a1, 3a2…の厚さ $d_b$ は、全て同一で10nmとする。
- [0099] 図3Bは、上記図2Bに示した他の例による活性層3の構造を説明する図である。
- [0100] すなわち、この活性層3は、複数の障壁層3a1, 3a2…と、該複数の障壁層3a1, 3a2…の間に形成される複数の井戸層3b1, 3b2…としてその種類が2種類で、各種類の井戸層としての第1の井戸層3B1が2層の井戸層3b1, 3b2及び第2の井戸層3

B2が3層の井戸層3b3, 3b4, 3b5とからなる。

- [0101] 図3Bにおいて、 $E_c$ は伝導帯の底のエネルギー準位を示し、 $E_v$ は価電子帯の上端のエネルギー準位を示す。
- [0102] また、図3Bにおいて、記号 $h$ は、プランク定数であり、記号 $c$ は光速を示す。
- [0103] ここで、第2の井戸層3B2は、その厚さ $d$ が $d_1$ で、バンドギャップ波長 $\lambda_1$  (略880nm)の光を発光している。
- [0104] また、第1の井戸層3B1は、厚さ $d$ が $d_2$ で、バンドギャップ波長 $\lambda_2$  (略810nm)の光を発光している。
- [0105] 上記図3Bで示したように、各井戸層の厚さ $d$ としての $d_1$ と $d_2$ とは、それぞれ略3nmの同一とする。
- [0106] また、各障壁層3a1, 3a2…の厚さ $d_b$ は、全て同一で略10nmとする。
- [0107] 次に、図1に戻ると、このSLD100に用いられる第2のクラッド層4は $p\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなり、その不純物濃度は略 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であり、その層厚は略 $2 \mu\text{m}$ である。
- [0108] なお、第2のクラッド層4中に設けられているエッチング阻止層5は、 $\text{InGaP}$ からなり、その層厚は略15nmである。
- [0109] また、このSLD100に用いられるコンタクト層6は、 $p^+\text{-GaAs}$ 層からなり、その不純物濃度は略 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ であり、その層厚は略 $1 \mu\text{m}$ である。
- [0110] この場合、コンタクト層6に用いられる $p^+\text{-GaAs}$ 層のp型の不純物としては、例えば、 $\text{Zn}$ が好適である。
- [0111] なお、コンタクト層6の上方の電極(以下、p電極という。)8とコンタクト層6とは、 $\text{SiO}_2$ からなる絶縁膜7に設けられたコンタクトホールを介して電氣的に接続されているものとする。
- [0112] 以下、本発明の第1の実施の形態に係るSLD100の製造方法について、図4A乃至図5Cを参照して説明する。
- [0113] まず、図4Aに示すように、 $n\text{-GaAs}$ からなる半導体基板1の(100)面の上方に、 $n\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなる第1のクラッド層2、アンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ からなる複数の井戸層とアンドープの $\text{Al}_{xc}\text{Ga}_{(1-xc)}\text{As}$ からなる複数の障壁層とから構成される

複数の量子井戸を含む活性層3、 $p\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなる第2のクラッド層4、及び、 $p^+\text{-GaAs}$ からなるコンタクト層6とが順次に堆積される(工程1)。

[0114] ここで、第2のクラッド層4中の活性層3寄りの位置に、 $p\text{-InGaP}$ からなるエッチング阻止層5が設けられている。

[0115] 上記各半導体層2、3、4、5、6は、例えば、MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)の技術を用いて堆積されてもよく、他の技術を用いて形成するのでもよい。

[0116] また、上記各半導体層2、4、5、6におけるn型の不純物としては、例えば、Si等が用いられ、p型の不純物としては、例えば、Zn等が用いられる。

[0117] 但し、本発明における各不純物の適用は、これらの元素に限定されるものではなく、他の元素であってもよい。

[0118] 上記の各半導体層2、4、5、6の厚さは、半導体基板1側から、それぞれ、例えば、 $2\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $15\text{nm}$ 、 $1\mu\text{m}$ 程度である。

[0119] なお、活性層3は、上記で説明した層の構成、すなわち、複数の障壁層3a1, 3a2…と前記複数の障壁層3a1, 3a2…間に挟まれた複数の井戸層3b1, 3b2…とからなる複数の量子井戸3c1, 3c2…を有するものとする。

[0120] すなわち、活性層3を構成する複数の井戸層3b1, 3b2…のうち、少なくとも一つの井戸層がそれに用いられるアンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ におけるInの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されることにより、前述したように、当該歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる。

[0121] また、上記の各半導体層2、4、5、6中の不純物濃度は、半導体基板1側からそれぞれ、例えば、 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 程度である。

[0122] なお、上記では、活性層3を構成する複数の井戸層3b1, 3b2…の厚さをそれぞれ3nmとしたが、本発明の適用は、上記の井戸層の厚さに限定されるものではなく、略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの厚さでもよい。

[0123] 以下に、これらの数値的限定の理由について説明する。

- [0124] 前述した「背景技術」の項目でも記載したように、従来、800～850nm付近の波長帯で用いる半導体光素子において、活性層中の井戸層としては、厚さ6～10nm程度のGaAs膜またはAl組成比が数%のAlGaAs膜が用いられている。
- [0125] また、従来、活性層中の障壁層としては、光閉込め係数および量子井戸へのキャリア注入効率を高く維持するという観点からAl組成比が0.2～0.3程度のAlGaAs膜が用いられている。
- [0126] すなわち、従来技術による半導体光素子では、これらの井戸層と障壁層とを用いて活性層を構成することにより、発光効率の優れた半導体光素子を実現しようとしている。
- [0127] 一方、InGaAs膜を井戸層に用いることにより、この井戸層に圧縮歪み(格子歪み)を発生させることができ、GaAsでは価電子帯端で縮退している2つのバンドのうち、井戸層界面に平行方向の有効質量が重いバンドをホールから見たエネルギーで相対的に高いレベルへ押しやること(以下、バンド分離という。)ができる。
- [0128] その結果、有効質量の小さいバンド、すなわち、状態密度の小さいバンドをホールの基底状態のバンドとすることができるため、InGaAs膜を井戸層に用いた量子井戸では、井戸層に発生される圧縮歪み(格子歪み)によって、少ない注入キャリア密度で価電子帯の擬フェルミ準位(quasi-Fermi level)を高くすることができ、良好な発光特性が得られることが知られている。
- [0129] しかしながら、従来技術による半導体光素子では、前述したように、800～850nm付近の波長帯で利用するという観点からは、所定のスペクトル半値幅を維持したまま効率のよい発光または増幅を安定して得ることは難しいというのが実情である。
- [0130] これは、例えば、上記特許文献2に記載されている中心波長が略800nmより短波長領域に位置する半導体レーザの例では、In組成比が0.03程度のInGaAs膜を活性層に用いているため、In組成比が低く、圧縮歪み(格子歪み)による上記のバンド分離の効果が十分に望めないことによるものである。
- [0131] この理由の説明に先立ち、本発明の半導体光素子における活性層3を構成する複数の井戸層3b1, 3b2…の厚さの下限(略2.5nm)及び複数の井戸層3b1, 3b2…に用いられる $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜のIn組成比の上限(略0.20)について説明する。

- [0132]  まず、井戸層を薄くしていくと、次第に井戸層の原子層レベルの厚さの揺らぎが問題となる。
- [0133]  このような原子層レベルの厚さの揺らぎが問題となり始める井戸層の厚さは、2.5nm程度である。
- [0134]  したがって、本発明の半導体光素子では、原子層レベルの厚さの揺らぎが問題とならないように、InGaAsの井戸層の下限を略2.5nmとし、井戸層の厚さは略2.5nm以上とする。
- [0135]  また、井戸層におけるIn組成比を大きくしていくと、井戸層とGaAs基板等との格子不整合により良質の結晶が得られなくなる。
- [0136]  このような結晶性が問題となり始めるIn組成比は、0.20程度である。
- [0137]  したがって、本発明の半導体光素子では、井戸層のIn組成比の上限を略0.20とし、井戸層のIn組成比は略0.20以下とする。
- [0138]  ここで、上記のバンド分離の効果が充分望めない理由の説明に戻る。
- [0139]  例えば、井戸層のIn組成比を0.03とし、AlGaAs障壁層のAl組成比を0.3とすると、圧縮歪み(格子歪み)による重いホールと軽いホールのバンド端のエネルギー差は13～14meVとなる。
- [0140]  このエネルギー差は、室温のエネルギー( $kT$ 、ここで、 $T$ は絶対温度で300Kとし、 $k$ はボルツマン定数である。)25.9meVの半分程度であるため、13～14meVのエネルギー差では熱揺らぎに抗してホールを基底準位に充分確保しておくことはできない。
- [0141]  このように、従来技術による半導体光素子では、井戸層のIn組成比が0.03と低いことなど、井戸層の構成が好適になされていないため、5nm以下の井戸層厚で高い光学利得を得ることができないのが実情である。
- [0142]  これに対し、本発明では、活性層3を構成する複数の井戸層のIn組成比を最低でも略0.05以上、すなわち、22～23meV程度以上のエネルギー差が得られる組成とし、熱揺らぎに抗してホールを基底準位に充分確保しておくことができるようにしている。
- [0143]  この場合、活性層3を構成する複数の井戸層にInGaAs膜を用い、長波長側(上記

図2A、図3Aの場合で、 $\lambda_1$ :略840nm)の井戸層のIn組成比を略0.20までの範囲内で、短波長側(上記図2A、図3Aの場合で、 $\lambda_2$ :略810nm)の井戸層のIn組成比よりも高くすることによって、上記の条件を好適に満たすことができる。

- [0144] すなわち、活性層としてバンドギャップの異なる複数の量子井戸を用いる本発明においては、複数の量子井戸のうちバンドギャップ波長の長い量子井戸に強い圧縮歪み(格子歪み)を与えることにより、SLD100としての発光スペクトラム幅を拡大することができる。
- [0145] これは、素子が動作している状態において複数の量子井戸を貫く擬フェルミ準位は同一のレベルにあるから、先にも述べたように低注入電流から伝導帯と価電子帯の擬フェルミ準位間隔を拡大できる強い圧縮歪み(格子歪み)を有する量子井戸の擬フェルミ準位間隔に従うようにバンドギャップ波長の短い量子井戸の擬フェルミ準位間隔を配置することにより、強い圧縮歪み(格子歪み)を有する長波長バンドギャップの量子井戸の光学利得に短波長バンドギャップの量子井戸の利得が加わるために、素子全体としての波長スペクトラムを拡大することができるということによっている。
- [0146] また、本発明では、活性層3を構成する複数の井戸層にInGaAs膜を用いることによって、In原子がコンタミネーションを捕獲する作用があるため、井戸層の結晶性を向上させることができるという効果も得られる。
- [0147] ここで、本発明では、活性層3を構成する複数の井戸層に用いられるInGaAs膜のIn組成比を下限値としての略0.05とすると共に、その厚さを下限値としての略2.5nmとし、AlGaAs障壁層のAl組成比を0.3とすると、バンドギャップ波長は略800nm(正確には、797nm)となる。
- [0148] 上記の構成と同様の構成で井戸層のIn組成比を下限値としての略0.05とすると共に、その厚さを上限値としての略5nmとした構成の場合、バンドギャップ波長は略850nm(正確には、857.8nm)となる。
- [0149] また、上記の構成と同様の構成で井戸層の厚さを下限値としての略2.5nmとし、そのIn組成比を上限値としての略0.20とした構成の場合、バンドギャップ波長は略850nm(正確には、862nm)程度となる。
- [0150] 上記のように、本発明では、活性層3を構成する複数の井戸層に用いられるInGa



As膜のIn組成比を略0.05～略0.20とすると共に、その厚さを略2.5～略5nmとすることによって、上述したように、当該井戸層内で生ずる略0.35%から1.35%の格子歪みの効果を有効に利用することができるので、略800～略850nmの波長帯で広いスペクトル半値幅及び高い光学利得を安定して得ることができる量子井戸を実現できるものである。

[0151] なお、本発明の適用は、上記の各半導体層2、4、5、6の層厚及び不純物濃度に限定されるものではなく、他の層厚および不純物濃度であってもよい。

[0152] 次に、上記の各半導体層2、3、4、5、6を形成した後の処理について説明する。

[0153] まず、図4Aに示すように、フォトリソグラフィ技術等を用いて、リッジ部10と非導波部20とを分離するためのレジストパターン(以下、リッジ分離用レジストパターンという。)  $R_1$  が形成される。

[0154] ここで、リッジ部10の長手方向は、[011]軸方向を向いているものとする(工程2)。

[0155] 工程2でリッジ分離用レジストパターン  $R_1$  を形成した後、硫酸－過酸化水素水溶液系のエッチング液を用いて、リッジ分離用レジストパターン  $R_1$  をエッチングマスクとしてエッチング阻止層5よりも表面側の半導体膜(第2のクラッド層4及びコンタクト層6)をエッチングによって除去し、リッジ部10と非導波部20とを分離する分離溝が形成される(工程3、図4B参照)。

[0156] なお、工程3で分離溝を形成した後、リッジ分離用レジストパターン  $R_1$  が除去されるものとする。

[0157] 工程3で分離溝を形成した後、ECR(Electron Cyclotron Resonance)、CVD(Chemical Vapour Deposition)等の方法を用いて  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜7が形成される(工程4、図4C参照)。

[0158] 工程4で  $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜7を形成した後、フォトリソグラフィ技術等を用いて、リッジ部10上の  $\text{SiO}_2$  膜を除去し、コンタクトホールを形成するためのレジストパターン(以下、コンタクトホール形成用レジストパターンという)  $R_2$  が形成される(工程5、図4C参照)。

[0159] 工程5でコンタクトホール形成用レジストパターン  $R_2$  を形成した後、弗酸系のエッチング液を用いて、リッジ部10上の  $\text{SiO}_2$  膜をエッチングによって除去し、コンタクトホー

ルが形成される(工程6、図4D参照)。

[0160] なお、工程6では、コンタクトホールを形成した後、コンタクトホール形成用レジストパターン $R_2$ が除去されるものとする。

[0161] 工程6でコンタクトホールを形成した後、半導体基板1の表面側からp電極(第1の電極)8形成用の金属を蒸着等によって堆積することにより、p電極8が形成される(工程7、図5A参照)。

[0162] 工程7でp電極8を形成した後、半導体基板1の裏面を研磨して半導体基板1が所定の厚さにされる(工程8、図5B参照)。

[0163] 工程8で所定の厚さまで半導体基板1を研磨した後、半導体基板1の裏面にn電極(第2の電極)9が形成される(工程9、図5C参照)。

[0164] 以上のような工程1～9により、本発明によるSLD100が得られる。

[0165] 図6Aは、上記のようにして製造されたSLD100(但し、図3Aに示した一例の構成に対応)によって得られる発光スペクトルの一例を示す特性図である。

[0166] 図6Aに示す例では、出力が60mW、中心波長が840nm、スペクトル半値幅が27nmの連続光が得られている。

[0167] ここで、第1の井戸層からの発光スペクトルと第2の井戸層からの発光スペクトルとが滑らかに結合されていることにより、図示のように単一の曲線で連なった発光スペクトルが形成されている。

[0168] 図6Bは、上記のようにして製造されたSLD100(但し、図2B、図3Bに示した他の例の構成に対応)によって得られる発光スペクトルの他の例及び駆動電流対光出力パワー(図示実線)特性との関係を従来技術によるSLDのそれら(図示破線)との対比において示す特性図である。

[0169] 図6Bに示す他の例の特性図では、本発明によるSLD100の場合には出力が60mW、中心波長が840nm、スペクトル半値幅が27.1nmの連続光が得られているのに対し、従来技術によるSLDの場合には出力が10mW、中心波長が850nm、スペクトル半値幅が14.8nmの連続光しか得られていないのが分かる。

[0170] 図6Bに示す本発明によるSLD100の例の場合にも、第1の井戸層からの発光スペクトルと第2の井戸層からの発光スペクトルとが滑らかに結合されていることにより、図

示のように単一の曲線で連なった発光スペクトルが形成されている。

[0171] 以上のように本発明に係るSLD100が備える活性層3は、圧縮歪を有する複数の $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 井戸層等からなり、これらの井戸層のうち少なくとも1つは他の井戸層と異なるバンドギャップ波長を有し、且つInの組成比 $x_a$ を略0.05～略0.20の範囲内とすることにより、GaAs基板に対する格子不整合すなわち圧縮歪み(格子歪み)が約0.35%から約1.5%程度になる。

[0172] このように約0.35%から約1.5%程度の圧縮歪み(格子歪み)を有する井戸層は、価電子帯端を占めるホールの井戸層界面方向における有効質量が軽くなるため、ホールの状態密度が減少する。

[0173] すなわち、本発明のSLD100では、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 井戸層を有する量子井戸に注入されるキャリア密度が少ない状態においても、ホールの擬フェルミ準位が容易に価電子帯内に進入するため、通電する電流が小さい領域から従来技術によるSLDよりも高い光学利得が得られる。

[0174] また、本発明のSLD100では、上記のように井戸層を略2.5nmから略5nmと薄くすることにより、基底量子準位と第1励起準位のエネルギー差が大きくなるため、以下のような効果が得られる。

[0175] すなわち、基底準位にキャリアを集中させることによって、低い電流注入状態においては光学利得をさらに押し上げることができ、高い注入状態においては発光スペクトル半値幅を拡大することができる。

[0176] なお、上記の井戸層厚(略2.5～略5nm)よりも薄い膜厚の井戸層を有する量子井戸を用いると、井戸層厚の原子層レベルの成長揺らぎの影響が大きくなり、波長制御性等が困難となる。

[0177] 上記した第1の実施形態では、本発明をSLDに適用した例について説明したが、本発明の適用は、上記の例に限られるものではなく、所定のスペクトル半値幅を有する半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子にも同様に適用することができる。

[0178] (第2実施形態)

図7A, Bは、本発明に係る半導体光素子の第2の実施形態として半導体光増幅器

に適用した場合の構成を示す図である。

- [0179] すなわち、図7Aは、本発明に係る半導体光素子の第2の実施形態として適用される半導体光増幅器200の平面図である。
- [0180] また、図7Bは、図7Aの7B-7B線断面図である。
- [0181] 図7Bに示すように、この半導体光増幅器200は、図1Bに示したSLD100と同様に、半導体基板201の表面の上方に順次に積層される第1のクラッド層202と、活性層203と、第2のクラッド層204と、エッチング阻止層205と、コンタクト層206と、絶縁膜207と、コンタクト層206上のp電極(第1の電極)208と、半導体基板201の裏面(上記の半導体層202~205が積層された半導体基板面と反対側の面をいう)に形成されるn電極(第2の電極)とを有している。
- [0182] ここで、半導体光増幅器200は、前述したSLD100とは異なり、吸収領域が形成されていないと共に、光が入射及び出射する両方の端面上に反射防止膜212、213が形成されている。
- [0183] また、利得領域の端面近傍に50m程度の電極が存在しない領域(電流非注入領域)を設けることによって端面を介したリーク電流を抑制し端面劣化に強い素子を作製することができる。
- [0184] なお、活性層203は、図3Aまたは図3Bに示したSLD100の活性層3と同様に、複数の障壁層3a1, 3a2...と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層3b1, 3b2...とからなる複数の量子井戸3c1, 3c2...を有しているものとする。
- [0185] そして、この半導体光増幅器200では、p電極208とn電極209との間に図示しない駆動源から駆動電流が供給されると共に、図7A, B中に「入射光」と記載した方向から光を入射させると、その光が自らも発光するように構成される半導体光増幅器200中の利得領域を通過することによって合波増幅された光として、図7A, B中に「出射光」と記載した方向から出射される。
- [0186] 具体的には、半導体光増幅器200の両端面に近接される先球光ファイバ214、215を介して外部からの光が入出力できるようにする。
- [0187] したがって、以上のような本発明の第2の実施形態に係る半導体光素子の構成を用いることにより、先球光ファイバ214、215間において光を所定の利得で増幅する

ことができるので、広い帯域で一定の増幅特性を持つ半導体光増幅器200を実現することができる。

[0188] なお、先球光ファイバ214、215に代えて、通常の光ファイバからの入射光をレンズを用いて集光して半導体光増幅器200に入射させると共に、半導体光増幅器200で増幅されて出力される光をレンズを用いてコリメートして通常の光ファイバに連結させるように構成してもよい。

[0189] また、上記の電流非流入領域に亜鉛拡散等の処理を施して窓領域を形成し、端面での光吸収を抑制することによって、さらなる特性向上を実現することができる。

[0190] また、上記の電流非注入領域や窓領域を半導体光増幅器200の出射側端面に設けても、同様の効果を得ることができる。

[0191] さらに、半導体光増幅器200と同様に、SLD100の吸収領域をなくして全て利得領域に変更した上で出射側端面と反対側の端面（以下、対向端面という。）に反射防止膜を設けることによってSLDを構成するようにしてもよい。

[0192] このように構成することによって、対向端面側に設けられる受光素子（図示せず）に對向端面からモニタ光を出力させることができる。

[0193] （第3実施形態）

図8は、本発明の第3の実施形態による外部共振器型半導体レーザ600の構成を説明するために示す図である。

[0194] 上述した本発明の第2の実施形態による半導体光素子を外部共振器型半導体レーザ600の半導体光素子400に適用することによって、広い波長可変帯域を持つ外部共振器型半導体レーザを実現することができる。

[0195] この場合、この半導体光素子400は、上記第2の実施形態による半導体光素子が適用される半導体光増幅器200と略同様に自らも発光するように構成される。

[0196] 但し、この半導体光素子400では、半導体光増幅器200の両端面上に形成される第1及び第2の反射防止膜212、213のうち、一方の反射防止膜212に代えて光入射側となる素子端面に所定の反射率を有する反射膜401が形成されている。

[0197] この第3の実施形態による外部共振器型半導体レーザ600は、半導体光素子400からの出射光を平行光にする集光レンズ501及びこの集光レンズ501を介して入射

される光成分のうち所定の波長の光のみを反射して再度集光レンズ501を介して半導体光素子400側に戻す波長選択手段としての回折格子502を備えた外部共振器500とを有する。

[0198] ここで、波長選択手段としては、反射角を変えることによって反射光の波長が選択可能な回折格子502が通常用いられている。

[0199] すなわち、第3の実施形態による外部共振器型半導体レーザ600は、上記第2の実施形態による半導体光素子が適用される半導体光増幅器200と略同様に自らも発光するように構成される半導体光素子400を備えていることにより、広い帯域特性を持つと共に、広い波長可変帯域を持つ外部共振器型半導体レーザを実現することができる。

[0200] なお、波長選択手段として用いられている回折格子502に代えて、図9に示すように、液晶や誘電体多層膜を用いた狭帯域の波長可変フィルタ503と全反射ミラー504とを組み合わせる構成するようにしてもよい。

[0201] 以上説明したように、本発明の第1の実施の形態に係る半導体光素子によれば、活性層が他の量子井戸と異なる発光の中心波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、Inの組成比 $x_a$ が、歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく発光特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術によるSLD等の半導体光素子よりも良好な発光特性を得ることができる。

[0202] また、本発明の第2の実施の形態に係る半導体光素子によれば、活性層が他の量子井戸と異なる増幅の中心波長を有する歪井戸層を有し、歪井戸層が $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、Inの組成比 $x_a$ が、歪井戸層内で生ずる格子歪が略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとるため、格子歪に基づく増幅特性を実現できる程度に格子歪を発生させることができ、もって、井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術による半導体光増幅器等の半導体光素子よりも良好な増幅特性を得ることができる。

[0203] また、本発明の第3の実施の形態に係る外部共振器型半導体レーザによれば、本

発明の第2の実施の形態に係る半導体光素子として適用される半導体光増幅器200と略同様に構成される半導体光素子400と、前記半導体光素子400から出射される前記所定の波長帯の光を受けて所定の波長の光を選択して出射する外部共振器500とを備えることにより、本発明の第2の実施の形態に係る半導体光素子として適用される半導体光増幅器と同様の作用効果を伴った所定の発光特性を発揮することができる。

- [0204] さらに、本発明の各実施の形態に係る半導体光素子によれば、各歪井戸層が略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有するため、格子歪を有効に発生させることができ、従来の半導体光素子に比して、中心波長が略800nmから略850nmまでの波長帯でさらに良好な発光特性または増幅特性を得ることができる。
- [0205] さらに、本発明の各実施の形態に係る半導体光素子によれば、活性層に含まれる各量子井戸が略同一の層厚を有するため、上記波長帯の中心波長及び井戸層厚で適切に格子歪を生じさせることができる。
- [0206] したがって、以上のような本発明によれば、活性層に含まれる各量子井戸の井戸層の厚さが6nm未満であっても従来技術によるSLD、半導体光増幅器、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子等の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を安定して得ることが可能な広い光スペクトル特性を有する半導体光素子及びその製造方法並びにそれを用いる外部共振器型半導体レーザを提供することができる。

#### 産業上の利用可能性

- [0207] 本発明に係る半導体光素子は、井戸層の厚さが6nm未満であっても従来の半導体光素子よりも良好な発光特性または増幅特性を得ることができるという効果が有用な半導体光素子として、光ジャイロ、光通信装置、光応用計測装置等の用途にも適用できる。

## 請求の範囲

- [1] 半導体基板と、  
前記半導体基板の上方に形成される複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層とからなる複数の量子井戸を有する活性層とを備え、  
前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、  
前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、  
光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されていることを特徴とする半導体光素子。
- [2] 前記歪井戸層が、略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれかの層厚を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [3] 前記活性層に含まれる前記複数の量子井戸がそれぞれ略同一の層厚を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [4] 前記半導体光素子が、スーパーluminescentダイオード(SLD)として適用されることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [5] 前記半導体光素子が、半導体光増幅器として適用されることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [6] 前記半導体光素子が、外部共振器型半導体レーザ用の増幅素子として適用されることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [7] 前記半導体基板としてn-GaAs基板を用いることを特徴とする請求項1に記載の半導体光素子。
- [8] 前記SLDは、前記半導体光素子として、前記半導体基板の表面の上方に形成される第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上方に形成される前記活性層と、前記活性層の上方に形成される第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層中に形成され



るエッチング阻止層と、前記第2のクラッド層の上方に形成されるコンタクト層と、前記コンタクト層の上方及び前記エッチング阻止層の上方に形成される絶縁膜と、前記絶縁膜の上方に形成される第1の電極と、前記半導体基板の裏面に形成される第2の電極とを備えると共に、

前記半導体光素子の短手方向の中央部の前記エッチング阻止層の上方に台形状に、且つ、前記半導体光素子の長手方向における一端面から中央部近辺にかけた位置における前記エッチング阻止層の上方にストライプ状に形成される利得領域となるリッジ部と、

前記半導体光素子の長手方向における中央部近辺から前記半導体光素子の他端面にかけて前記リッジ部に隣接した位置で前記活性層を含む前記半導体光素子の内部にストライプ状に形成される光及び電流を吸収する吸収領域と、

前記リッジ部の両側部に対向した位置に形成される光が導波されない領域と、

前記半導体光素子における一端面に形成される反射防止膜とを有することを特徴とする請求項4に記載の半導体光素子。

- [9] 前記半導体光増幅器は、前記半導体光素子として、前記半導体基板の表面の上方に形成される第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上方に形成される前記活性層と、前記活性層の上方に形成される第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層中に形成されるエッチング阻止層と、前記第2のクラッド層の上方に形成されるコンタクト層と、前記コンタクト層の上方に形成される絶縁膜と、前記絶縁膜の上方に形成される第1の電極と、前記半導体基板の裏面に形成される第2の電極とを備えると共に、

前記エッチング阻止層の上方に形成される利得領域と、光が入射及び出射する前記半導体光素子の両端面上に形成される第1及び第2の反射防止膜と、前記利得領域の両端面近傍に形成される第1及び第2の電流非注入領域とを有することを特徴とする請求項5に記載の半導体光素子。

- [10]  $n\text{-GaAs}$ からなる半導体基板の(100)面の上方に、 $n\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなる第1のクラッド層、アンドープの $\text{In}_{xa}\text{Ga}_{(1-xa)}\text{As}$ からなる複数種類の井戸層とアンドープの $\text{Al}_{xc}\text{Ga}_{(1-xc)}\text{As}$ からなる複数の障壁層とを含む活性層、 $p\text{-Al}_{xb}\text{Ga}_{(1-xb)}\text{As}$ 層からなる第2のクラッド層、前記第2のクラッド層中のエッチング阻止層及び、 $p^+$

GaAsからなるコンタクト層を順次に堆積する工程と、

前記コンタクト層上にリッジ部と非導波部とを分離するためのリッジ分離用レジストパターンを形成する工程と、

前記リッジ分離用レジストパターンをエッチングマスクとして前記エッチング阻止層よりも表面側の前記第2のクラッド層及びコンタクト層を除去し、前記リッジ部と非導波部とを分離する分離溝を形成する工程と、

前記分離溝を形成した後、絶縁膜を形成する工程と、

前記リッジ部上の絶縁膜を除去してコンタクトホールを形成するためのコンタクトホール形成用レジストパターンを形成する工程と、

前記コンタクトホール形成用レジストパターンをエッチングマスクとしてコンタクトホールを形成した後、前記リッジ部上の絶縁膜を除去する工程と、

前記コンタクトホールを形成した後、前記半導体基板の表面側からp電極を形成する工程と、

前記p電極を形成した後、前記半導体基板の裏面を研磨して前記半導体基板を所定の厚さにする工程と、

前記半導体基板を所定の厚さまで研磨した後、前記半導体基板の裏面にn電極を形成する工程とを備え、

前記複数種類の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、

前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、

光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されていることを特徴とする半導体光素子の製造方法。

[11] 所定の波長帯の光を出射する半導体光素子と、

前記半導体光素子から出射される前記所定の波長帯の光を受けて所定の波長の

光を選択して前記半導体光素子に戻す外部共振器とを備える外部共振器型半導体レーザであって、

前記半導体光素子は、

半導体基板と、

前記半導体基板の上方に形成される複数の障壁層と前記複数の障壁層に挟まれた複数の井戸層とからなる複数の量子井戸を有する活性層とを備え、

前記複数の井戸層のうち少なくとも1つの井戸層が、 $\text{In}_{x_a}\text{Ga}_{(1-x_a)}\text{As}$ 膜からなると共に、前記Inの組成比 $x_a$ が略0.05から略0.20までの範囲のいずれかの値をとることにより、当該井戸層内で生ずる格子歪みが略0.35%から略1.5%までの範囲のいずれかの値をとる歪井戸層として形成されると共に、

前記歪井戸層が、他の井戸層とは異なるバンドギャップ波長を有して形成されることにより、

光スペクトル特性として、中心波長が略800nmから略850nmまでの間で、且つ所定値以上のスペクトル半値幅を有する広い光スペクトル特性を提示可能に構成されていることを特徴とし、

前記外部共振器は、

前記半導体光素子から出射される前記所定の波長帯の光を受けて所定の波長の光を選択する波長選択手段と、

前記半導体光素子と前記波長選択手段との間にあって、前記半導体光素子から出射される前記所定の波長帯の光を前記波長選択手段に入射させると共に、前記波長選択手段によって選択された前記所定の波長の光を前記半導体光素子に戻す光学手段とを備えたことを特徴とする外部共振器型半導体レーザ。

[12] 前記外部共振器の前記波長選択手段は、反射角を変えることによって反射光の波長が選択可能な回折格子で構成されていることを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

[13] 前記外部共振器の前記波長選択手段は、波長可変フィルタと全反射ミラーとで構成されていることを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

[14] 前記半導体光素子の前記歪井戸層が、略2.5nmから略5nmまでの範囲のいずれ

れかの層厚を有することを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

- [15] 前記半導体光素子の前記活性層に含まれる前記複数の量子井戸がそれぞれ略同一の層厚を有することを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

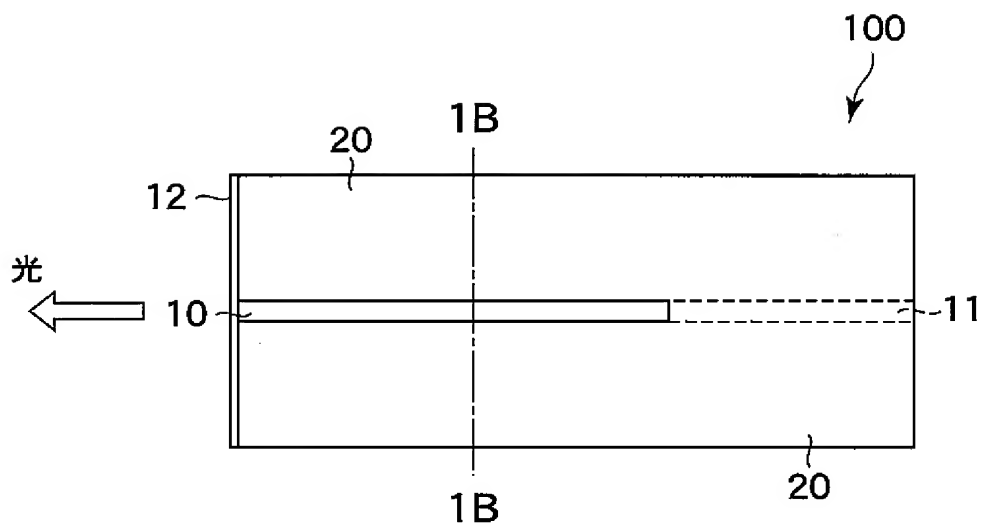
- [16] 前記半導体光素子の前記半導体基板としてn-GaAs基板を用いることを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

- [17] 前記半導体光素子は、

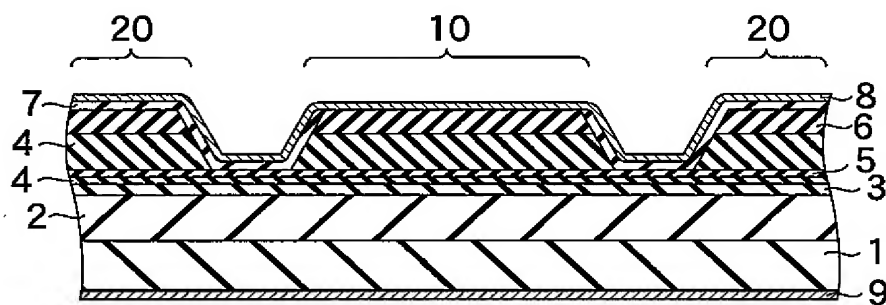
前記半導体基板の表面の上方に形成される第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上方に形成される前記活性層と、前記活性層の上方に形成される第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層中に形成されるエッチング阻止層と、前記第2のクラッド層の上方に形成されるコンタクト層と、前記コンタクト層の上方に形成される絶縁膜と、前記コンタクト層上の前記絶縁膜の上方に形成される第1の電極と、前記半導体基板の裏面に形成される第2の電極とを備えると共に、

前記エッチング阻止層の上方に形成される利得領域と、光が入射及び出射する素子両端面に形成される第1及び第2の反射防止膜と、前記利得領域の両端面近傍に形成される第1及び第2の電流非注入領域とを有することを特徴とする請求項11に記載の外部共振器型半導体レーザ。

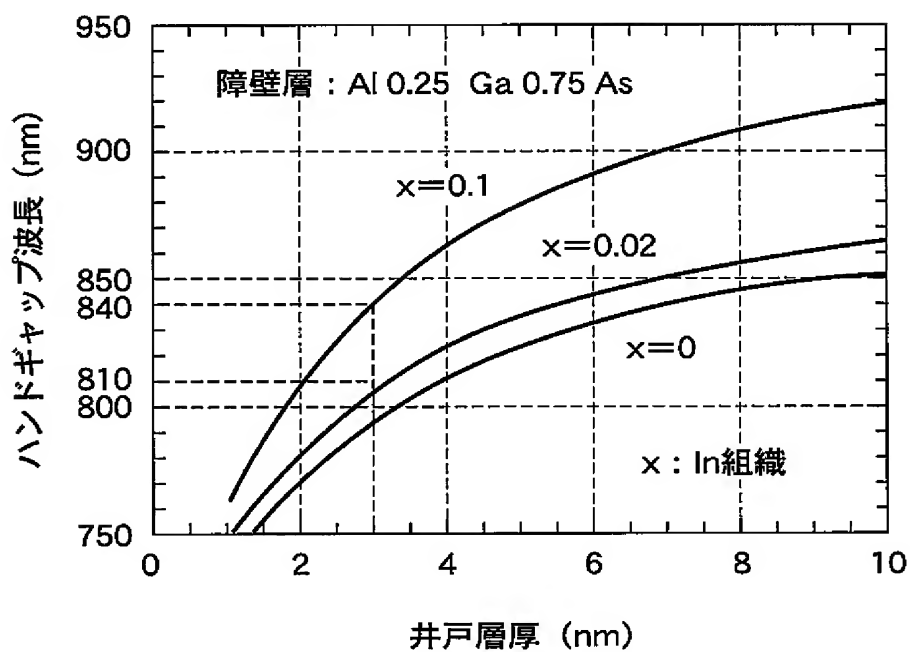
[図1A]



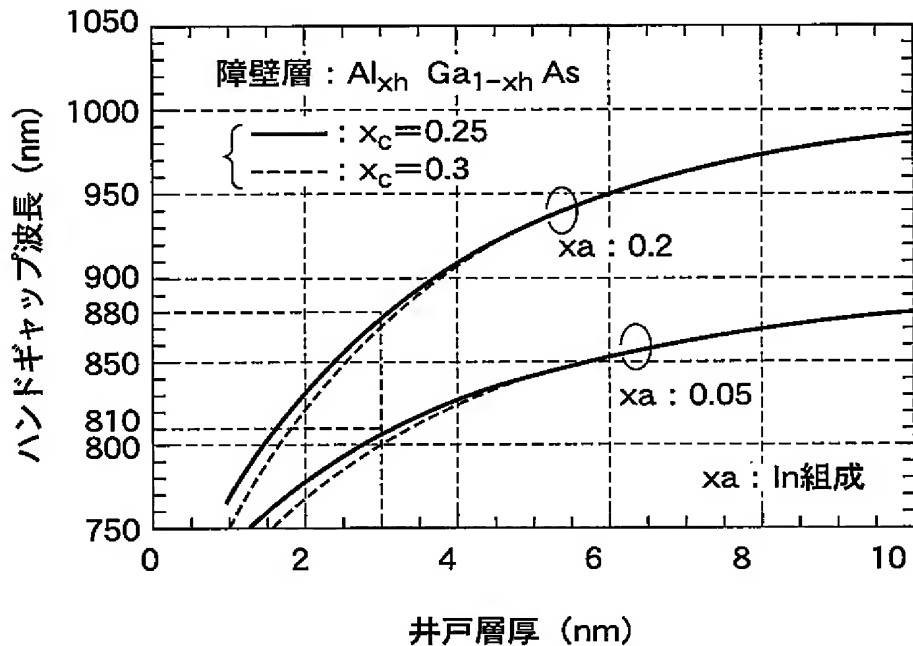
[図1B]



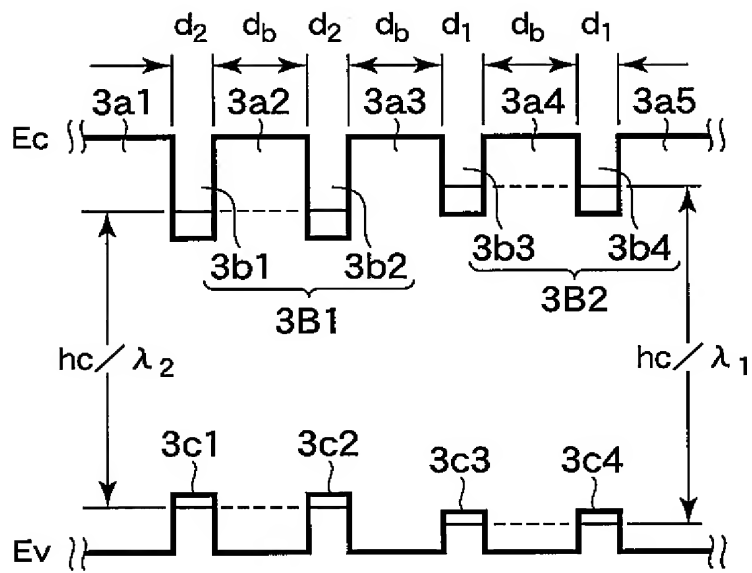
[図2A]



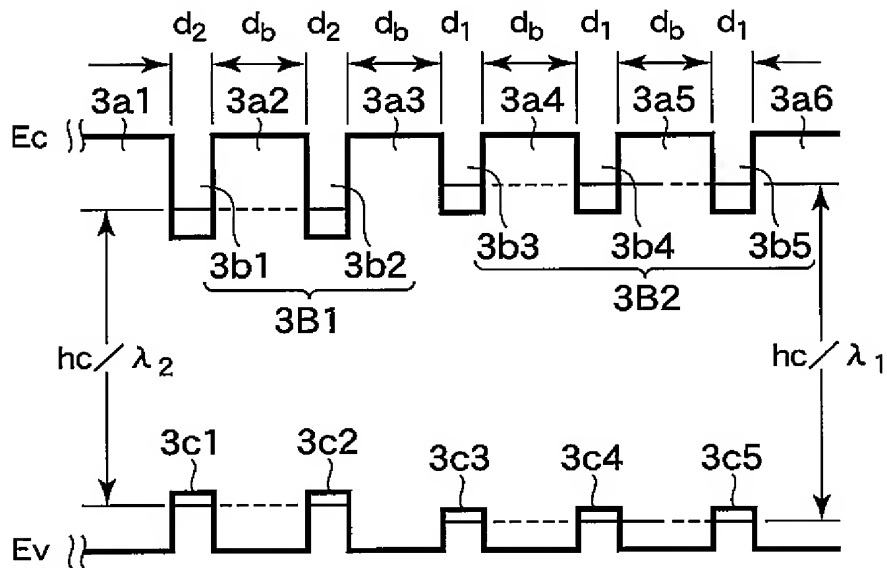
[図2B]



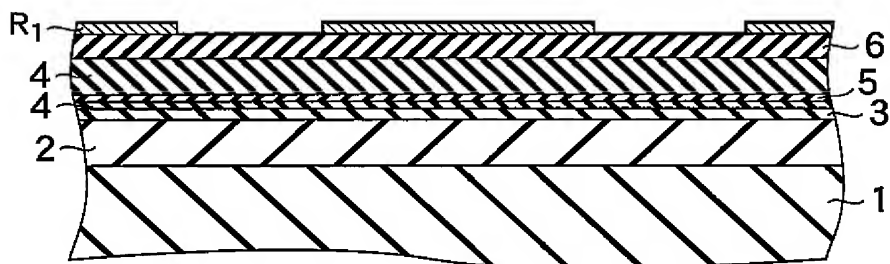
[図3A]



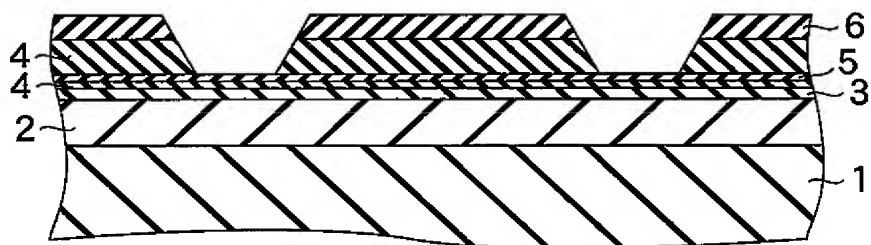
[図3B]



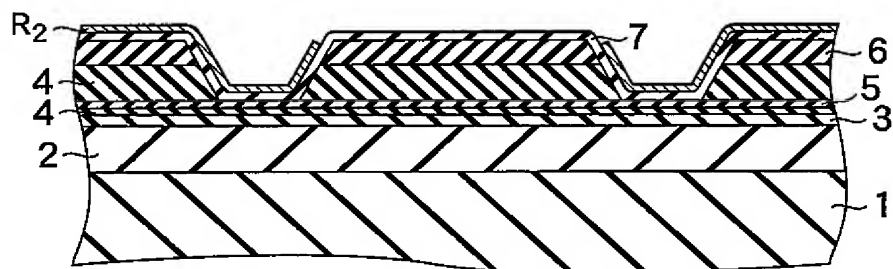
[図4A]



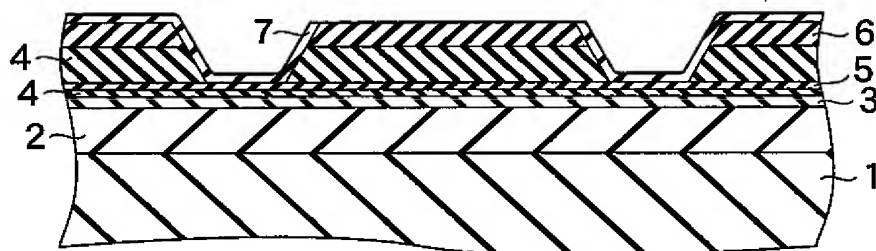
[図4B]



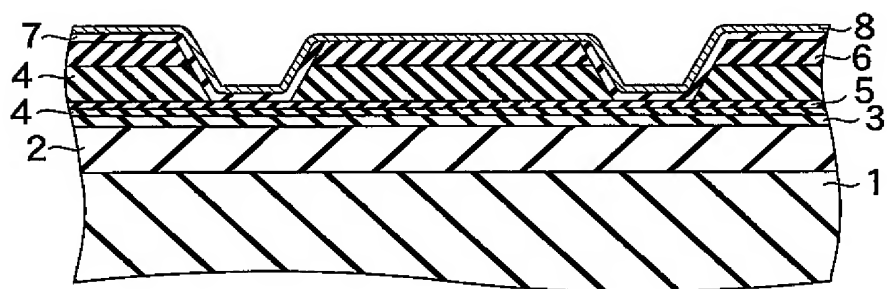
[図4C]



[図4D]

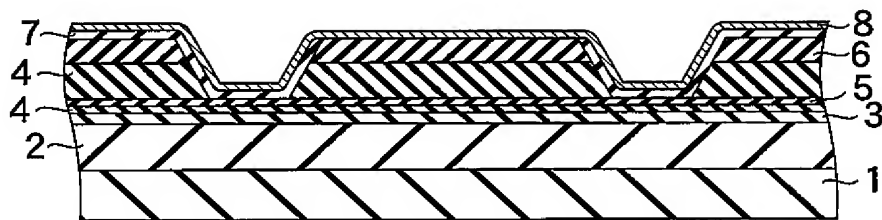


[図5A]

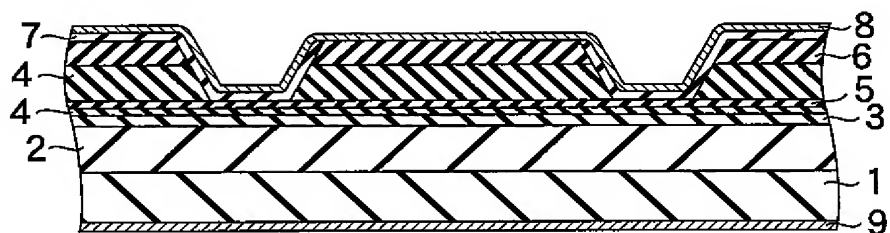




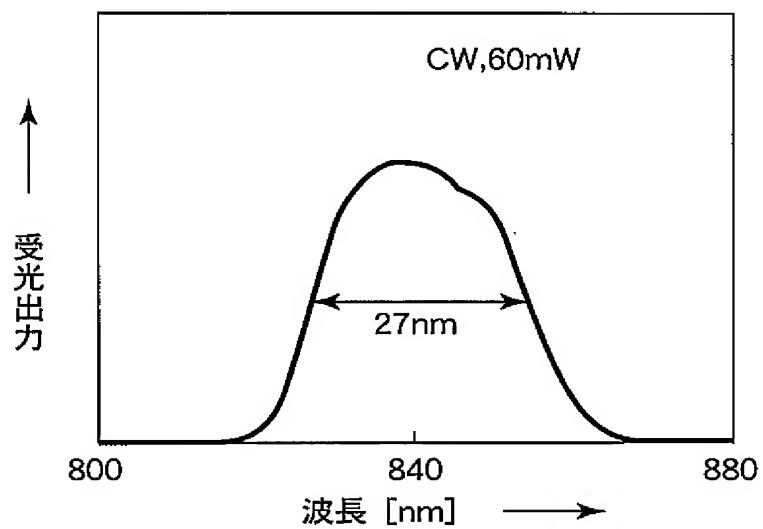
[図5B]



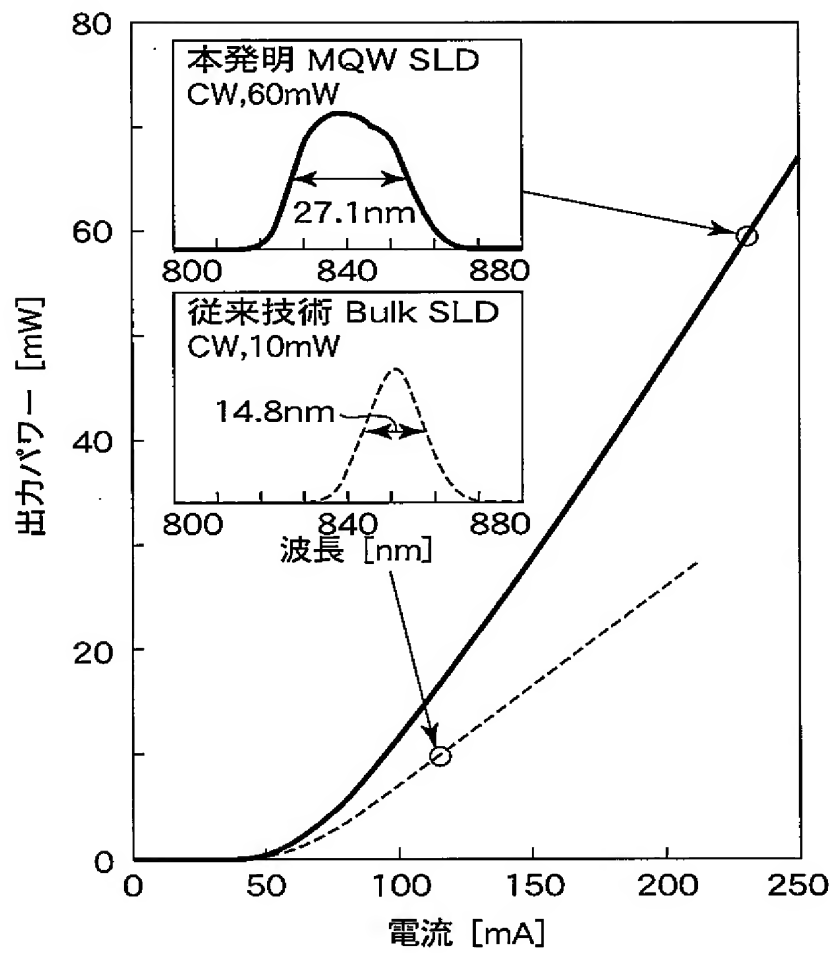
[図5C]



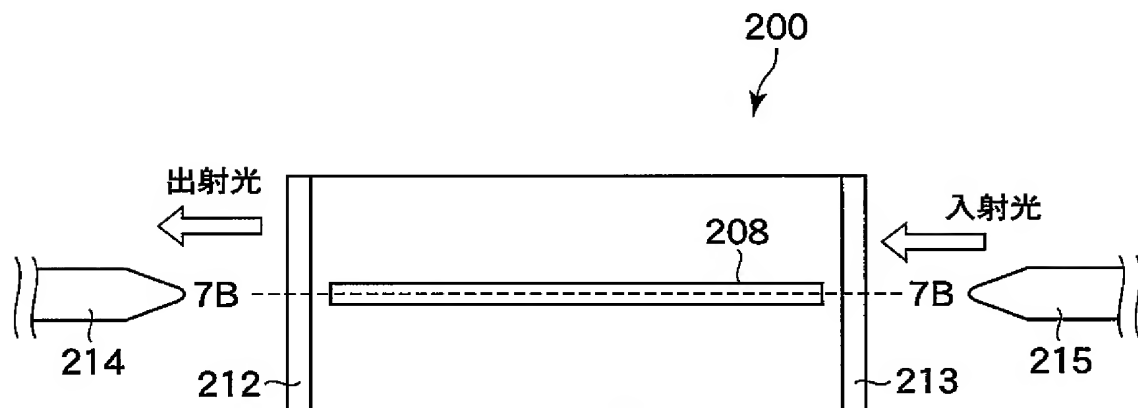
[図6A]



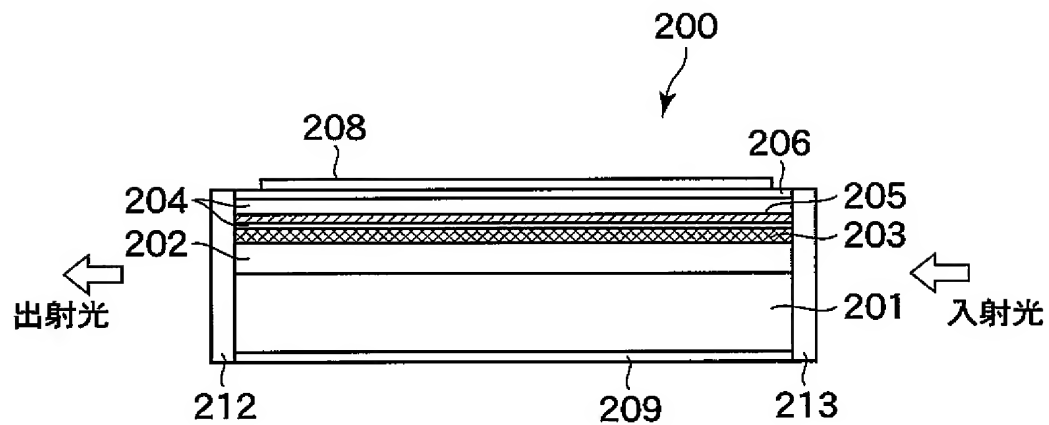
[図6B]



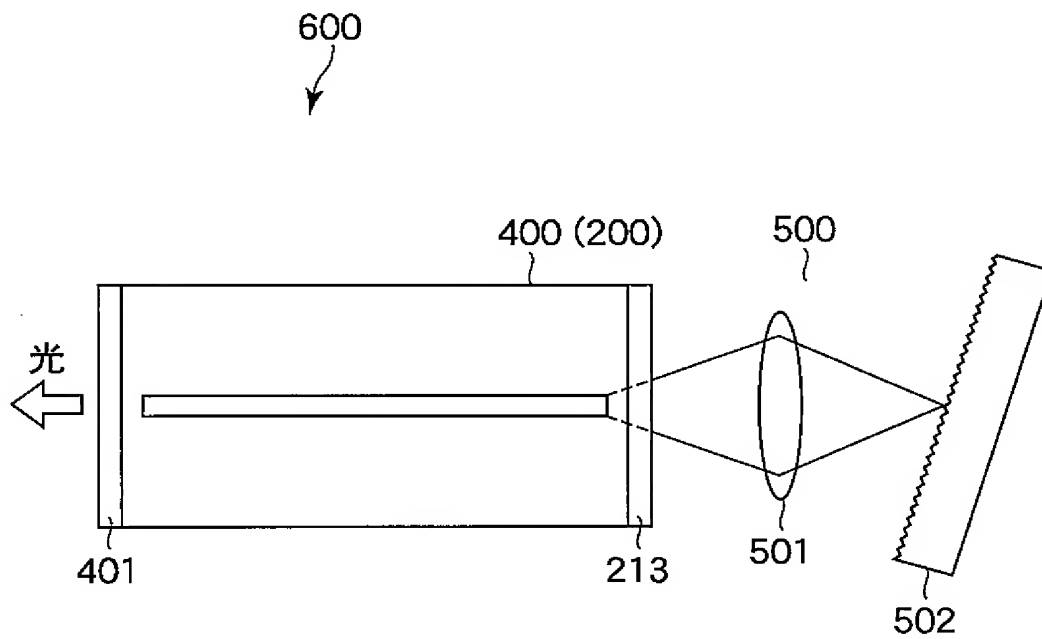
[図7A]



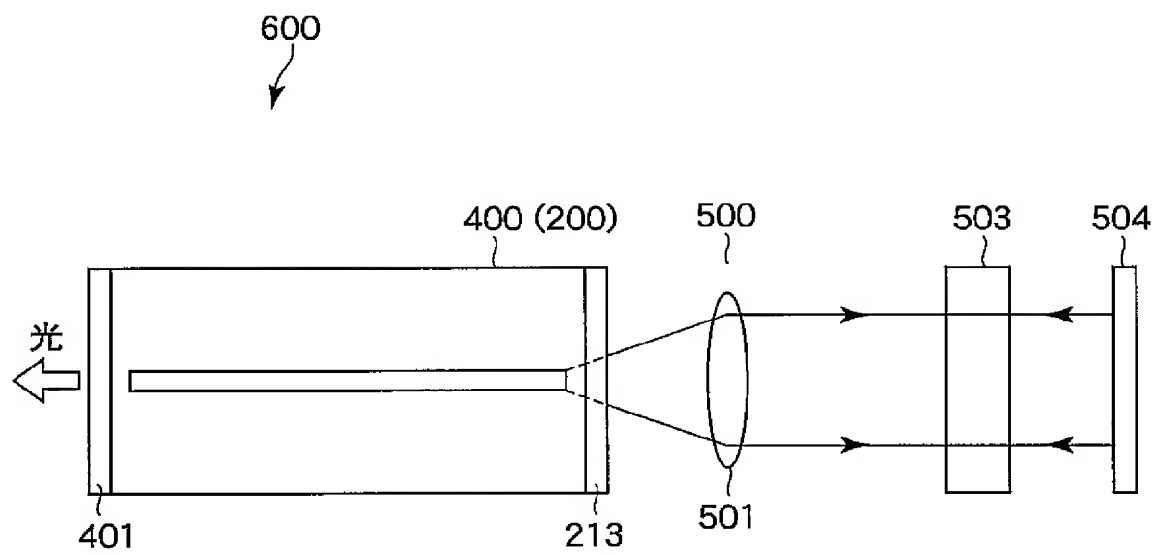
[図7B]



[図8]



[図9]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/300550

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**H01L33/00**(2006.01) , **H01S5/343**(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**H01L33/00**(2006.01) , **H01S5/00-5/50**(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-8442 A (Canon Inc.), 12 January, 1999 (12.01.99), Par. Nos. [0062] to [0083], [0089] to [0211]; Figs. 7 to 11, 15 to 38 & US 6288410 B & EP 834972 A2	1-17
A	JP 2002-76432 A (Stanley Electric Co., Ltd.), 15 March, 2002 (15.03.02), Par. Nos. [0012] to [0032]; Fig. 1 & US 2002/0024052 A1	1-17
A	JP 2004-95838 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 25 March, 2004 (25.03.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
13 March, 2006 (13.03.06)

Date of mailing of the international search report  
20 March, 2006 (20.03.06)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/300550

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

[illegible]

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00 (2006.01), H01S5/343 (2006.01)

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00 (2006.01), H01S5/00-5/50 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-8442 A (キャノン株式会社) 1999.01.12, 【0062】-【0083】欄、【0089】-【0211】欄、図7-11、15-38 & US 6288410 B & EP 834972 A2	1-17
A	JP 2002-76432 A (スタンレー電気株式会社) 2002.03.15, 【0012】-【0032】欄、図1 & US 2002/0024052 A1	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13.03.2006

国際調査報告の発送日

20.03.2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

8826

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2004-95838 A (富士写真フイルム株式会社) 2004.03.25, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2000-68553 A (アンリツ株式会社) 2000.03.03, 【0002】-【0009】欄、図10 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2004-179428 A (ローム株式会社) 2004.06.24, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2002-368342 A (アンリツ株式会社) 2002.12.20, 【0036】-【0039】欄、図8 (ファミリーなし)	1-17